

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑪ **DE 3703707 A1**

93-9817-TS(3) 3)  
⑤ Int. Cl. 4:  
**G01 N 27/50**  
F 02 D 41/14

②1 Aktenzeichen: P 37 03 707.2  
②2 Anmeldetag: 6. 2. 87  
④3 Offenlegungstag: 13. 8. 87

ordeneigen

DE 3703707 A1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1  
07.02.86 JP P 26258/86

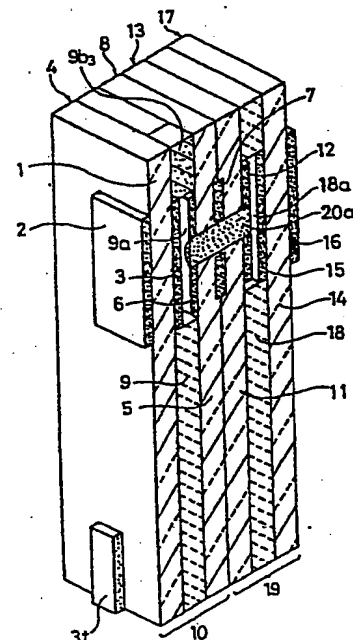
⑦1 Anmelder:  
NGK Spark Plug Co., Ltd., Nagoya, Aichi, JP; Honda  
Giken Kogyo K.K., Tokio/Tokyo, JP

⑦4 Vertreter:  
Henkel, G., Dr.phil.; Feiler, L., Dr.rer.nat.; Hänzel, W.,  
Dipl.-Ing.; Kottmann, D., Dipl.-Ing, Pat.-Anw., 8000  
München

⑦2 Erfinder:  
Yamada, Tetsusyo; Hayakawa, Nobuhiro; Yokota,  
Kazunori; Hayashi, Keiichi, Nagoya, Aichi, JP;  
Nakajima, Toyohei; Okada, Yasushi, Wako, Saitama,  
JP

⑤4 **Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensor**

Die Erfindung betrifft einen Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensor mit zwei Sondereinheiten, die jeweils zwei Meßelemente mit je zwei porösen Elektroden auf gegenüberliegenden Seiten eines Sauerstoffionen leitenden Festelektrolyten, einen Gasraum, der mit der einen porösen Elektrode jedes Meßelements in Berührung stehend ausgebildet ist und mit der interessierenden oder zu untersuchenden Gasatmosphäre über einen Gasdiffusionsdrosselteil kommuniziert, und eine interne Bezugs-Sauerstoffquelle aufweisen, die in Berührung mit einem Meßelement an der Seite der porösen Elektrode ausgebildet ist, welche der Seite, an welcher der Gasraum vorgesehen ist, gegenüberliegt. Die Sauerstoffquelle kommuniziert mit der Außenseite über einen Leckdrosselteil. Der Gasraum in der ersten Sondereinheit kommuniziert unmittelbar mit der zu untersuchenden Gasatmosphäre über einen ersten Gasdiffusionsbegrenzungs- oder -drosselteil, während der Gasraum der zweiten Sondereinheit mit dem Gasraum der ersten Sondereinheit über einen zweiten Gasdiffusionsdrosselteil kommuniziert.



DE 3703707 A1

## Patentansprüche

1. Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensor mit zwei Sondereinheiten, die jeweils zwei MeBelemente mit je zwei porösen Elektroden an gegenüberliegenden Seiten eines Sauerstoffionen leitenden Festelektrolyten, einen Gasraum, der in Berührung mit einer porösen Elektrode für jedes MeBelement ausgebildet ist und der mit der interessierenden oder zu untersuchenden gasförmigen Atmosphäre über einen Gasdiffusionsbegrenzungs- oder -drosselteil kommuniziert, und eine interne Bezugs-Sauerstoffquelle, die in Berührung mit einem MeBelement an der Seite der porösen Elektrode ausgebildet ist, welche der Seite, an der der Gasraum vorgesehen ist, gegenüberliegt (bzw. von ihr abgewandt ist), aufweisen, wobei die Sauerstoffquelle mit der Außenseite über einen Leckhemm- oder -drosselteil kommuniziert, dadurch gekennzeichnet, daß der Gasraum (9a) in der ersten Sondereinheit (10) mit der zu untersuchenden gasförmigen Atmosphäre unmittelbar über einen ersten Gasdiffusionsdrosselteil kommuniziert, während der Gasraum (18a) in der zweiten Sondereinheit (19) mit dem Gasraum (9a) der ersten Sondereinheit (10) über einen zweiten Gasdiffusionsdrosselteil kommuniziert.
2. Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die interne Bezugs-Sauerstoffquelle mit dem Gasraum kommuniziert.
3. Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Gasdiffusionswiderstand des zweiten Gasdiffusionsdrosselteils mindestens doppelt so groß ist wie derjenige des ersten Gasdiffusionsdrosselteils.

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensor bzw. -Meßfühler zum Messen des Luft/Kraftstoffverhältnisses in der Ansaug- oder Speiseluft zu einer Brennkraftmaschine oder einer anderen Verbrennungsvorrichtung auf der Grundlage der Sauerstoffkonzentration im Abgas von dieser Maschine bzw. Vorrichtung.

Es sind bereits verschiedene Arten von Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensoren zur Messung des Luft/Kraftstoffverhältnisses in dem einer Brennkraftmaschine oder einer sonstigen Verbrennungsvorrichtung zugeführten Luft/Kraftstoffgemisch auf der Grundlage der Sauerstoffkonzentration im Abgas in Gebrauch. Die Vorrichtung gemäß JP-OS 1 78 354/1984 umfaßt zwei Elemente, die jeweils auf gegenüberliegenden Seiten eines tafelförmigen, Sauerstoffionen leitenden Festelektrolyten ausgebildete poröse Elektroden aufweisen und die unter Bildung eines Gasraums oder eines Spalts, in welchem die Diffusion von Abgas begrenzt ist, einander mit einem Abstand flächig gegenüberstehen. Das eine der Elemente dient als Sauerstoffpumpe zum Auspumpen von Sauerstoff aus dem Spalt zwischen den beiden Elementen; das andere Element dient als elektrochemische Sauerstoffkonzentrationszelle, die eine Spannung entsprechend der Sauerstoffkonzentrationsdifferenz zwischen dem Spalt und der zu untersuchenden oder zu messenden Umgebungsgasatmosphäre erzeugt. Diese Vorrichtung ist so ausgelegt, daß sie ein einem Luft/

Kraftstoffverhältnis zugeordnetes Signal zumindest im kraftstoffarmen Bereich (Magerbereich) zu erfassen (oder zu liefern) vermag.

Es hat sich jedoch gezeigt, daß dieser Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensor, der hauptsächlich für die Lieferung eines Signals im Magerbereich, in welchem das Abgas eine große Menge an Restsauerstoff enthält, ausgelegt ist, ein ähnliches Signal im kraftstoffangereicherten Bereich erzeugt, in welchem das Abgas sehr wenig Restsauerstoff enthält, weil er mit anderen, im Abgas enthaltenen chemischen Verbindungen, wie CO, CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O, reagiert. Mit anderen Worten, ein von diesem Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensor geliefertes Signal ist zwei verschiedenen Werten oder Größen des Luft/Kraftstoffverhältnisses zugeordnet. Dieser Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensor kann daher nicht für die Luft/Kraftstoffverhältnisregelung eingesetzt werden, sofern nicht definitiv bekannt ist, ob die Verbrennungsvorrichtung im kraftstoffarmen oder -angereicherten Bereich arbeitet.

Gemäß einem, im Hinblick auf diese Notwendigkeit entwickelten Verfahren wird Atmosphärenluft so eingeleitet, daß sie die dem Sauerstoffpumpelement nicht zugewandte Seite der elektrochemischen Sauerstoffkonzentrationszelle kontaktiert, um damit ein Invertieren (oder "Kippen") eines Meßsignals im Bereich der stöchiometrischen Größe des Luft/Kraftstoffverhältnisses zu verhindern. Um jedoch die Atmosphärenluft für die Kontaktierung der genannten Seite der Sauerstoffkonzentrationszelle einleiten zu können, muß der Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensor gegenüber der (Umgebungs-)Luft offen sein, was wiederum bedingt, daß der Sensor mittels einer aufwendigen Konstruktion wasserdicht ausgebildet wird.

Zur Vermeidung dieses Problems ist kürzlich eine Abwandlung vorgeschlagen worden, gemäß welcher, anstatt Atmosphärenluft in den Sensor einzuleiten, Sauerstoff an einer internen Bezugssauerstoffquelle an der Seite des (elektrochemischen) Sauerstoffkonzentrationszellenelements erzeugt und ein Teil des erzeugten Sauerstoffs zum Entweichen in das umgebende Abgas oder in den Gasraum über einen Leckdrosselabschnitt gebracht wird, so daß der Sauerstoffpartialdruck in der internen Bezugssauerstoffquelle konstant gehalten wird und damit die Notwendigkeit für die Bereitstellung der Atmosphärenluftreferenz vermieden wird (vgl. JP-OSen 1 37 586/1985 und 2 14 004/1985).

Wenn eine vorbestimmte Strommenge in das elektrochemische Sauerstoffkonzentrationszellenelement des angegebenen Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensors strömt, fließt der im Gasraum enthaltene Sauerstoff in die interne Bezugssauerstoffquelle, wobei ein Teil des einströmenden Sauerstoffs über den Leckdrosselabschnitt nach außen entweicht, so daß ein konstanter Pegel des Sauerstoffpartialdrucks in der internen Bezugssauerstoffquelle aufrechterhalten wird. Hiermit können dieselben Ergebnisse wie bei Einleitung der Atmosphärenluft in den Sensor erzielt werden, und es kann eine genaue Luft/Kraftstoffverhältnismessung ohne die Einleitung von Atmosphärenluft gewährleistet werden.

Der Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensor gemäß den JP-OSen 1 37 586/1985 und 2 14 004/1985 ermöglicht somit die Messung der Sauerstoffkonzentration im Abgas mit demselben Genauigkeitsgrad wie bei Einleitung von Atmosphärenluft in den Sensor. Dieser Sensor besitzt jedoch eine z. B. in Fig. 10 gezeigte Meßcharakteristik bzw. -kennlinie, deren Gradient zwischen dem kraftstoffarmen Bereich und dem kraftstoffangereicherten

Bereich des Luft/Kraftstoffverhältnisses so stark verschieden ist, daß die Meßgenauigkeit im ersteren Bereich nicht so hoch ist wie im letzteren Bereich. Fig. 10 zeigt die Änderung des Pumpstroms  $I_p$  für den Fall, daß der durch das Sauerstoffpumpelement fließende Strom  $I_p$  so geregelt wird, daß sich über das elektrochemische Sauerstoffkonzentrationszellenelement eine konstante Spannung entwickelt. Gemäß Fig. 10 ist der Gradient von  $I_p$  im Anreicherungsgebiet etwa dreimal so groß wie im Magerbereich; dieser Umstand bedingt eine herabgesetzte Meßgenauigkeit im Magerbereich.

Das oben geschilderte Problem beruht darauf, daß von Sauerstoff verschiedene Gase, wie CO und  $H_2$ , höhere Diffusionsgrade als gasförmiger Sauerstoff besitzen. Insbesondere wird im (Kraftstoff-)Anreicherungsgebiet, in welchem im Abgas eine vergleichsweise kleine Sauerstoffmenge enthalten ist, der Sensor so betrieben, daß der Sauerstoffpartialdruck im Gasraum durch das Sauerstoffpumpelement, das mit CO,  $CO_2$ ,  $H_2O$  und anderen sauerstoffhaltigen Bestandteilen im Abgas unter Erzeugung von dann in den Gasraum eingepumptem Sauerstoff reagiert, konstant gehalten wird. Im Gasraum reagieren jedoch  $H_2$ , CO und andere schnell diffundierende Gase mit dem in den Gasraum eingepumpten oder geförderten Sauerstoff, so daß der Sauerstoffpartialdruck darin abnimmt. Als Ausgleich für diese Druckabnahme muß das Sauerstoffpumpelement eine entsprechend größere Sauerstoffmenge einpumpen, was zu einem vergrößerten Pumpstrom über das Pumpenelement führt.

Der beschriebene Sensor ist auch mit einem weiteren Problem behaftet. Wenn er nämlich im Abgas eines Kraftfahrzeugs eingesetzt wird, setzt sich eine Ablagerung am Gasdiffusionsbegrenzungsstück ab, was (schließlich) ein Verstopfen oder Zusetzen zur Folge hat. Dies führt zu dem Mangel, daß ein Fehler in einer Ausgangsgröße auftritt, die für die zeitabhängige (time-basis) oder Zeitbasis-Änderung in der Gasdiffusionsregelung, d. h. das Luft/Kraftstoffverhältnis, repräsentativ ist.

Aufgabe der Erfindung ist damit die Schaffung eines Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensors, der eine genaue Luft/Kraftstoffverhältnismessung ohne die Einführung von Atmosphärenluft gewährleistet und der zudem Meßcharakteristika bzw. -kennlinien bietet, die nicht nur im Anreicherungsgebiet, sondern auch im Magerbereich eine hohe Genauigkeit zeigen.

Dieser Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensor soll darüber hinaus eine Selbstkompensierfunktion für die Ausgangs-Zeitbasisänderung aufweisen.

Die genannte Aufgabe wird bei einem Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensor mit zwei Sondeneinheiten, die jeweils

zwei Meßelemente mit je zwei porösen Elektroden an gegenüberliegenden Seiten eines Sauerstoffionen leitenden Festelektrolyten,

einen Gasraum, der in Berührung mit einer porösen Elektrode für jedes Meßelement ausgebildet ist und der mit der interessierenden oder zu untersuchenden gasförmigen Atmosphäre über einen Gasdiffusionsbegrenzungs- oder -drosselteil kommuniziert, und

eine interne Bezugs-Sauerstoffquelle, die in Berührung mit einem Meßelement an der Seite der porösen Elektrode ausgebildet ist, welche der Seite, an der der Gasraum vorgesehen ist, gegenüberliegt (bzw. von ihr abgewandt ist), aufweisen, wobei die Sauerstoffquelle mit der Außenseite über einen Leckhemm- oder -drosselteil kommuniziert,

erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß der Gasraum in

der ersten Sondeneinheit mit der zu untersuchenden gasförmigen Atmosphäre unmittelbar über einen ersten Gasdiffusionsdrosselteil kommuniziert, während der Gasraum in der zweiten Sondeneinheit mit dem Gasraum der ersten Sondeneinheit über einen zweiten Gasdiffusionsdrosselteil kommuniziert.

Im folgenden sind bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine teilweise weggebrochene perspektivische Darstellung eines Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensors gemäß einer Ausführungsform der Erfindung,

Fig. 2 eine auseinandergezogene perspektivische Darstellung des Sensors nach Fig. 1,

Fig. 3 eine Schnittansicht zur Veranschaulichung des Einbaus des Sensors nach Fig. 1 in eine Abgasleitung,

Fig. 4 ein Schaltbild einer Detektorschaltung zur Bestimmung der Meßkennlinien der einzelnen Sondeneinheiten des Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensors,

Fig. 5 eine graphische Darstellung des in der Detektorschaltung nach Fig. 4 erzeugten Steuersignals für das Sauerstoffpumpelement,

Fig. 6 eine graphische Darstellung der mittels der Meßschaltung erzielbaren Meßergebnisse,

Fig. 7 ein Schaltbild einer Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensor-Detektorschaltung, die vorteilhaft für die Durchführung einer Luft/Kraftstoffverhältnismessung mit dem Sensor gemäß Fig. 1 angewandt werden kann,

Fig. 8 eine auseinandergezogene perspektivische Darstellung eines Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensors gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung,

Fig. 9 ein Schaltbild einer anderen Ausführungsform der Luft/Kraftstoffverhältnis-Detektorschaltung,

Fig. 10 eine graphische Darstellung zur Verdeutlichung des Problems beim herkömmlichen Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensor und

Fig. 11 eine graphische Darstellung einer Selbstkompensierfunktion für eine Zeitbasisänderung aufgrund eines Verstopfens oder Zusetzens von Diffusionsdrosselteilen beim erfindungsgemäßen Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensor.

Typische Beispiele für den bei den beiden Meßelementen verwendeten, Sauerstoffionen leitenden Festelektrolyten sind eine feste Lösung aus Zirkonoxid und Yttriumoxid sowie eine solche aus Zirkonoxid und Calciumoxid (calcia). Andere verwendbare Stoffe sind feste Lösungen aus Cerdioxid, Thoriumdioxid und Hafniumdioxid, eine feste Lösung eines Oxids des Perovskitoxids, eine feste Lösung eines dreiwertigen Metalloxids. Die auf den gegenüberliegenden Seiten der Festelektrolyte ausgebildeten porösen Elektroden können aus Platin, Rhodium oder einem anderen Metall, das die oxidative Reaktion zu katalysieren vermag, bestehen. Die Elektroden selbst können nach verschiedenen Verfahren hergestellt werden. Bei einem derartigen Verfahren wird eine Paste auf der Basis eines Pulvers aus Platin, Rhodium oder einem anderen geeigneten Metall, das mit einem Pulver aus demselben Keramikmaterial wie dem des Festelektrolyten vermischt ist, nach Dickschicht-Auftragstechnik in einem vorbestimmten Muster auf den Festelektrolyten aufgedruckt, worauf der aufgedruckte Überzug gesintert wird. Bei einem anderen Verfahren wird das Pulver, als Ausgangsmaterial, nach zweckmäßiger Dünnschicht-Auftragstechnik, wie Flammprühen, chemisches Plattieren oder Aufdampfen, auf den Festelektrolyten aufgetragen. Diese Elektroden, die dem Abgas unmittelbar ausgesetzt sein sollen, und die Elektroden an der Gasraumseite werden

vorzugsweise nach Dickschicht-Auftragstechnik mit einer porösen Schutzschicht aus Aluminiumoxid, Spinell, Zirkonoxid, Mullit o. dgl. beschichtet.

Der Gasraum bildet den Raum, in den das umgebende Abgas unter Diffusionsbegrenzung oder -drosselung durch einen Gasdiffusionsdrosselteil zur Begrenzung der Diffusion des zu untersuchenden Gases bzw. des Abgases eingeführt wird. Dieser Raum kann durch Einsetzen eines hohlen Abstandstücks aus  $Al_2O_3$ , Spinell, Forsterit, Steatit, Zirkonoxid o. dgl. zwischen die beiden MeBelemente geformt werden. Der Gasdiffusionsdrosselteil ist dabei in Form einer Öffnung vorgesehen, die in einem oder mehreren Bereichen des Abstandstücks ausgebildet ist und eine Verbindung zwischen der zu untersuchenden Umgebungsgasatmosphäre und dem Gasraum herstellt. Der Gasdiffusionsdrosselteil ist bezüglich seiner Form keinen besonderen Einschränkungen unterworfen, solange er eine Verbindung zwischen dem Umgebungsabgas und dem Gasraum in diffusionsbegrenzender Weise herzustellen vermag. Beispielsweise kann das Abstandstück teilweise oder ganz durch einen porösen Körper ersetzt werden; wahlweise können im Abstandstück (mit einer dicken Überzugsschicht) Öffnungen vorgesehen sein. Gewünschtenfalls kann das Abstandstück nur im Bereich zwischen den Anschlußseiten der beiden MeBelemente so angeordnet sein, daß zwischen den beiden Elementen ein Zwischenraum oder Spalt festgelegt wird, der als mit dem Gasraum integrierter Gasdiffusions-Drosselspalt dient. Der Gasraum kann vollständig mit einem porösen Material, vorzugsweise einem elektrischen Isolator, gefüllt sein.

Die interne Bezugs-Sauerstoffquelle dient als Sammler für Sauerstoff, der durch den durch das MeBelement, das mit der Sauerstoffquelle in Berührung steht, fließenden Strom aus dem Gasraum ausgetrieben (moved) wird. Die Sauerstoffquelle kann durch Beschichten des MeBelements mit einer Abschirmplatte aus  $Al_2O_3$ , Spinell, Forsterit, Steatit, Zirkonoxid o. dgl. gebildet sein, wobei diese Abschirmplatte eine Ausnehmung aufweist, welche der Form der Elektrode an der vom Gasraum abgewandten Seite des MeBelements angepaßt ist. Die interne oder eingebaute Bezugs-Sauerstoffquelle kommuniziert mit dem Gasraum über den Leckdrosselteil (leakage resisting portion), um eine Leckage bzw. ein Entweichen des internen bzw. im Inneren befindlichen Sauerstoffs zur Seite des Gasraums zuzulassen. Dieser Leckdrosselteil kann durch Anordnung einer porösen Schicht zwischen der internen Bezugs-Sauerstoffquelle und einer im MeBelement ausgebildeten durchgehenden Bohrung geformt sein, um eine Verbindung zwischen dem MeBelement und dem Gasraum herzustellen.

Es reicht aus, daß der Leckdrosselteil den Sauerstoff in der internen Bezugs-Sauerstoffquelle allmählich in den Gasraum oder zur Außenseite (z. B. zum zu untersuchenden Umgebungsgas) entweichen läßt; demzufolge kann die Verbindung zwischen der Bezugs-Sauerstoffquelle und dem Gasraum oder dem genannten Umgebungsgas mittels sehr kleiner Löcher hergestellt sein. Gewünschtenfalls kann anstelle der Verwendung einer Abschirmplatte mit einer Ausnehmung (oder Aussparung) als interne Bezugs-Sauerstoffquelle eine flache (nicht ausgesparte) Abschirmplatte unmittelbar am betreffenden MeBelement ausgebildet sein; in diesem Fall bilden die anfänglichen in der porösen Elektrode an diesem MeBelement vorhandenen Verbindungsporen die interne Bezugs-Sauerstoffquelle.

Ein wesentliches Merkmal des erfindungsgemäßen Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensors (im folgenden meist

nur als "Sensor" bezeichnet) besteht darin, daß er zwei Sondeneinheiten verwendet, die jeweils aus den beiden MeBelementen, einem Gasraum und einer internen Bezugs-Sauerstoffquelle, wie sie vorstehend beschrieben worden sind, bestehen. Wie eingangs erwähnt, sind die Diffusionsgrade oder -geschwindigkeiten für gasförmige Bestandteile im Abgas im Kraftstoff-Magerbereich von denen im Kraftstoff-Anreicherungsbereich verschieden, weshalb ein nur eine Sondeneinheit verwendender Sensor nicht in beiden Bereichen eine gleich gute Meßgenauigkeit zu gewährleisten vermag. Zur Ausschaltung dieses Problems verwendet der erfindungsgemäße Sensor eine einheitliche oder integrierte Kombination von zwei Sondeneinheiten mit unterschiedlichen Diffusionsgraden. Die erste Sonde, die einen höheren Diffusionsgrad bzw. eine höhere Diffusionsgeschwindigkeit gewährleistet, dient zur Messung eines Luft/Kraftstoffverhältnisses im Magerbereich, während die zweite Sonde mit kleinerer Diffusionsgröße für die Messung des betreffenden Verhältnisses im Kraftstoff-Anreicherungsbereich dient. Aufgrund der Verwendung dieser beiden Sondeneinheiten in Kombination miteinander gewährleistet der erfindungsgemäße Sensor eine Meßcharakteristik oder -kennlinie, bei welcher sich die Ansprechempfindlichkeit kontinuierlich über den gesamten Betriebsbereich, einschließlich des Mager- und des Anreicherungsbereichs, hinweg ändert.

Der erfindungsgemäße Sensor ist, genauer gesagt, so ausgebildet, daß das Abgas über den ersten Gasdiffusionsdrosselteil unmittelbar in den Gasraum in der ersten Sondeneinheit eingeleitet wird, während das Abgas im Gasraum in der ersten Sondeneinheit über den zweiten Gasdiffusionsdrosselteil in den Gasraum der zweiten Sondeneinheit eingeführt wird. Aufgrund dieser Ausgestaltung können die Meßcharakteristika für den Kraftstoff-Magerbereich, die in der ersten Sondeneinheit erreicht werden, an die Meßcharakteristika der zweiten Sondeneinheit für den Kraftstoff-Anreicherungsbereich weitgehend angeglichen werden. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, daß im Hinblick auf den im Anreicherungsbereich bestehenden Gradienten der Kennlinie, der etwa das Dreifache desjenigen im Magerbereich beträgt, der zweite Gasdiffusionsdrosselteil vorzugsweise einen Gasdiffusionswiderstand besitzt, der mindestens das Doppelte desjenigen des ersten Gasdiffusionsdrosselteils beträgt.

Die beiden Sondeneinheiten können durch unmittelbare Verbindung der beiden Abschirmplatten, von denen die eine die interne Bezugs-Sauerstoffquelle in der ersten Sondeneinheit und die andere die Sauerstoffquelle in der zweiten Sondeneinheit abdeckt, zu einer Einheit integriert werden, und zwar derart, daß der Gasraum in der zweiten Sondeneinheit mit dem Gasraum der ersten Sondeneinheit über die Gasdiffusionsdrosselteile der betreffenden Sondeneinheiten kommuniziert. Wie erwähnt, kann die (interne) Bezugs-Sauerstoffquelle durch die in einer porösen Elektrode auf jedem MeBelement vorhandenen durchgehenden Poren oder Verbindungsporen gebildet sein; in diesem Fall reicht anstelle von zwei Sauerstoffquellen eine einzige Sauerstoffquelle aus, wenn eine Elektrode den beiden MeBelementen gemeinsam zugeordnet ist. Bei Verwendung nur einer derartigen Sauerstoffquelle können zwei Leckdrosselteile vorgesehen sein, so daß der in dieser Sauerstoffquelle enthaltene oder erzeugte Sauerstoff in den Gasraum jeder Sondeneinheit eintritt. Da die beiden Gasräume miteinander kommunizieren, kann wahl-

weise nur ein mit einem (oder jedem) der Gasräume kommunizierender Leckdrosselteil vorgesehen sein, so daß Sauerstoff ausschließlich in den betreffenden Gasraum austritt. Es ist auch darauf hinzuweisen, daß der Leckdrosselteil so ausgebildet sein kann, daß er unmittelbar mit der zu untersuchenden Umgebungsgasatmosphäre in Verbindung steht.

Der den beschriebenen Aufbau besitzende erfindungsgemäße Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensor kann in der Weise betrieben werden, daß das mit der internen Bezugs-Sauerstoffquelle in Berührung stehende Meßelement in jeder Sondeneinheit als elektrochemische Sauerstofferzeugungs- und -konzentrationszelle wirkt, während das andere Meßelement als Sauerstoffpumpe arbeitet. Genauer gesagt: durch das mit der internen Bezugs-Sauerstoffquelle in Berührung stehende Meßelement (d. h. die Sauerstoffkonzentrationszelle) wird ein Strom geleitet, indem eine Spannung zwischen die Elektroden an den gegenüberliegenden Enden dieses Meßelements angelegt wird. Infolgedessen wird der im Gasraum befindliche Sauerstoff in die Bezugs-Sauerstoffquelle gepumpt, wobei gleichzeitig eine Spannung erzeugt wird, die dem im Gasraum herrschenden Sauerstoffpartialdruck proportional ist, welcher auf den in der internen Bezugs-Sauerstoffquelle vorliegenden Sauerstoffpartialdruck bezogen ist, der durch das Pumpen von Sauerstoff in die Sauerstoffquelle erzeugt worden ist. Die Spannungserzeugung an der elektrochemischen Sauerstoffkonzentrationszelle kann durch das andere Meßelement (d. h. die Sauerstoffpumpe) geregelt werden, da es in Abhängigkeit von dem zweiseitig gerichteten (didirectial) Stromfluß, der durch Anlegung einer vorbestimmten Spannung zwischen die Elektroden an gegenüberliegenden Seiten dieses Meßelements erzeugt wird, Sauerstoff aus dem Gasraum in das umgebende Abgas auspumpt oder Sauerstoff aus dem Abgas in den Gasraum pumpt bzw. fördert. Auf der Grundlage dieses Arbeitsprinzips kann die Luft/Kraftstoffverhältnismessung oder die Messung der Sauerstoffkonzentration im Abgas wie folgt vor sich gehen: Über einen Widerstand wird eine gegebene Spannung an die elektrochemische Sauerstoffkonzentrationszelle angelegt; der über die Sauerstoffpumpe fließende Strom wird dabei so geregelt, daß über den Widerstand eine konstante Spannung entsteht; der resultierende Regelstrom (oder geregelte Strom) wird als Ausgangssignal abgenommen, welches das Luft/Kraftstoffverhältnis des Abgases anzeigt. Wahlweise kann ein konstanter Strom durch bzw. über die Sauerstoffpumpe geleitet werden, indem eine vorbestimmte Sauerstoffmenge aus dem Gasraum ausgepumpt oder in diesen eingepumpt wird, wobei die resultierende, über die Sauerstoffkonzentrationszelle erzeugte Spannung als das Luft/Kraftstoffverhältnis des Abgases anzeigendes Signal abgegriffen wird. Bei jeder dieser Methoden der Luft/Kraftstoffverhältnismessung muß die Sauerstoffkonzentrationszelle mit einem konstanten oder nahezu konstanten Strom beschickt werden, so daß der in der internen Bezugs-Sauerstoffquelle vorliegende Sauerstoffpartialdruck konstant oder im wesentlichen konstant gehalten wird.

Wie erwähnt, ist der erfindungsgemäße Sensor so ausgebildet, daß das in den Gasraum der ersten Sondeneinheit eingeführte Abgas über den zweiten Gasdiffusionsdrosselteil in den Gasraum der ersten Sondeneinheit eingeleitet wird. Auf diese Weise kann effektiv die Gasdiffusion durch die zweite Sondeneinheit gegenüber derjenigen durch die erste Sondeneinheit verzögert werden, wobei die Diffusionsgrößen für  $H_2$ , Co und an-

dere schnell diffundierende Bestandteile in dem Abgas, das für die Messung des Luft/Kraftstoffverhältnisses im Anreicherungsbereich in die zweite Sondeneinheit eingeleitet wird, dem Diffusionsgrad des Sauerstoffs im Abgas, das bei der Verhältnismessung im Magerbereich in die erste Sondeneinheit eingeleitet wird, angenähert werden. Durch Betreiben des erfindungsgemäßen Sensors in der Weise, daß die Luft/Kraftstoffverhältniswerte im Magerbereich mittels der ersten Sondeneinheit und diejenigen im Anreicherungsbereich mittels der zweiten Sondeneinheit erfaßt oder gemessen werden, lassen sich somit annähernd gleiche Größe der Meßempfindlichkeit und -genauigkeit über den gesamten Bereich des Luft/Kraftstoffverhältnisses hinweg erzielen.

Im folgenden ist eine erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensors anhand der Zeichnungen näher beschrieben. Zunächst ist der allgemeine Aufbau des Sensors anhand der Fig. 1 und 2 erläutert.

Gemäß Fig. 2 besteht der erfindungsgemäße Sensor aus zwei Sondeneinheiten 10 und 19. Die erste Sondeneinheit 10 umfaßt ein Sauerstoffpumpenelement 4 mit auf gegenüberliegenden Seiten einer Festelektrolytplatte 1 ausgebildeten porösen Elektroden 2 und 3, ein elektrochemisches Sauerstoffkonzentrationszellenelement (im folgenden auch einfach als "Zellenelement" bezeichnet) 8 mit auf gegenüberliegenden Seiten einer Festelektrolytplatte 5 ausgebildeten porösen Elektroden 6 und 7, sowie ein Abstandstück 9, das zwischen diese beiden Meßelemente 4 und 8 eingefügt ist und einen Hohlraum 9a aufweist, der durch die beiden gegenüberstehenden, auf den Elementen 4 und 8 ausgebildeten porösen Elektroden 3 bzw. 6 definiert ist. Die zweite Sondeneinheit 19 umfaßt ein elektrochemisches Sauerstoffkonzentrationszellenelement 13 mit auf gegenüberliegenden Seiten einer Festelektrolytplatte 11 ausgebildeten porösen Elektroden 7 und 12, ein Sauerstoffpumpenelement 17 mit auf gegenüberliegenden Seiten einer Festelektrolytplatte 14 ausgebildeten porösen Elektroden 15 und 16 sowie ein Abstandstück 18, das zwischen diese beiden Meßelemente 13 und 17 eingefügt ist und einen Hohlraum 18a aufweist, der durch die beiden gegenüberstehenden porösen Elektroden 12 und 15 an den Meßelementen 13 bzw. 17 definiert ist.

Das Abstandstück 9 der ersten Sondeneinheit 10 dient zur Bildung eines zwischen den porösen Elektroden 3 und 6 befindlichen Gasraums, in welchem eine Gasdiffusion begrenzt ist. Der Gasraum wird dabei durch den Hohlraum 9a gebildet. Bei der dargestellten Ausführungsform sind Gasdiffusionsdrosselteile 9b1 bis 9b5, die aus porösem Aluminiumoxid (alumina) bestehen und die als erster Gasdiffusionsdrosselabschnitt dienen, an fünf Stellen um den Hohlraum 9a herum vorgesehen, um einem Eintritt des zu untersuchenden Umgebungsgases in den Hohlraum 9a zuzulassen.

Ähnlich wie das Abstandstück 9 dient das Abstandstück 18 bei der zweiten Sondeneinheit 19 zur Bildung eines Gasraums zwischen den porösen Elektroden 12 und 15, wobei der Gasraum selbst durch den Hohlraum 18a gebildet wird. Das zu untersuchende Gas wird in den Hohlraum 18a über die Gasdiffusionsdrosselteile 9b1 bis 9b5, den Gasraum (Hohlraum 9a) in der ersten Sondeneinheit und Verbindungsbohrungen 20 in den porösen Elektroden 6, 7 und 12 sowie in den Festelektrolytplatten 5 und 11, die mit dem Hohlraum 9a kommunizieren, eingeleitet. Die Verbindungsbohrungen 20 entsprechen dem zweiten Gasdiffusionsdrosselteil und

sind bei der dargestellten Ausführungsform mit einem porösen Material 20a, wie Aluminiumoxid, ausgefüllt.

Beim dargestellten Sensor ist die poröse Elektrode 7 dem Zellelement 8 der ersten Sondereinheit 10 und dem Zellelement 13 der zweiten Sondereinheit 19 gemeinsam zugeordnet. Diese Elektrode 7 dient auch als interne oder eingebaute Bezugs-Sauerstoffquelle für die beiden Sondereinheiten 10 und 19, wobei in dieser Sauerstoffquelle Sauerstoff in Abhängigkeit von einem vorbestimmten Strom erzeugt wird, der dem Zellelement 8 und/oder 13 zugeführt wird. Um den erzeugten Sauerstoff in den als Gasraum der ersten Sondereinheit 10 dienenden Hohlraum 9a sickern oder austreten zu lassen, ist eine Leitung 7 der porösen Elektrode 7 mit einer Leitung 6/ der porösen Elektrode 6 sowohl über einen typischerweise aus Aluminiumoxid bestehenden porösen Isolator Z als auch eine durchgehende Bohrung H verbunden. Mit anderen Worten: der poröse Isolator Z, die Bohrung H und die Leitungen 7/ und 6/ bilden Leckdrosselteile, wobei der in der porösen Elektrode 7, als interne Bezugs-Sauerstoffquelle, erzeugte Sauerstoff, wie erwähnt, durch diese Leckdrosselteile in den Gasraum der ersten Sondereinheit 10 eindringen kann.

Die Anschlußenden der porösen Elektroden 2, 3, 15 und 16 für die Sauerstoffpumpelemente 4 und 17 sind auf der Außenfläche der Wand des Sensors ausgebildet. Da die porösen Elektroden 2 und 16 nach außen hin freiliegend ausgebildet sind, werden ihre jeweiligen Leitungen 2/ bzw. 16/ unmittelbar als ihre Anschlüsse benutzt. Die Anschlüsse für die in den Sensor eingebetteten porösen Elektroden 3 und 15 werden durch elektrische Verbindung ihrer Leitungen 3/ bzw. 15/ mit Anschlüssen 3t bzw. 15t an den Außenseiten der Festelektrolytplatten 1 bzw. 14 über durchgehende Bohrungen 3h bzw. 15h hergestellt. Die Anschlüsse für die porösen Elektroden 6, 7 und 12 an den elektrochemischen Sauerstoffkonzentrationszellelementen 8 und 13 sind in Form von nach außen ragenden Zuleitungen 6t, 7t bzw. 12t vorgesehen, die mit den jeweiligen Leitungen 6/, 7/ bzw. 12/ verbunden sind.

Gemäß Fig. 3 ist der Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensor gemäß der beschriebenen Ausführungsform typischerweise eingeschlossen oder gekapselt (enclosed), um einen Sauerstoffaustritt zur Außenseite der porösen Elektrode 7 zu verhindern, und er ist mit Hilfe eines Fixierelements 31 und eines Gewindeelements 32 in eine Abgasleitung 33 einer Brennkraftmaschine eingebaut. Der auf diese Weise eingebaute Sensor S dient zur Messung des Luft/Kraftstoffverhältnisses des der Brennkraftmaschine zugeführten Luft/Kraftstoffgemisches auf der Grundlage des Meßwerts der Sauerstoffkonzentration im Abgas. Zur versuchsweisen Bestimmung der Meßcharakteristika des Sensors S wurde dieser erfindungsgemäß auf die in Fig. 3 gezeigte Weise in die Abgasleitung 33 einer Brennkraftmaschine eingebaut und mittels einer Luft/Kraftstoffverhältnis-Detektor- oder -Meßschaltung 35 betrieben bzw. angesteuert. Der für diesen Zweck durchgeführte Versuch ist nachstehend näher beschrieben. Der Deutlichkeit halber ist der in die Abgasleitung gemäß Fig. 3 eingebaute Sensor S ohne die Leitungen und Anschlüsse für die einzelnen porösen Elektroden dargestellt.

Die genannte Detektorschaltung 35 umfaßt Detektoren 37 und 38, die erster bzw. zweiter Sondereinheit 10 bzw. 19 zugeordnet sind. Der Detektor 37 (oder 38) ist so ausgebildet, daß dann, wenn ein Strom durch das Sauerstoffkonzentrationszellelement 8 (oder 13) der Sonde 10 (bzw. 19) geleitet wird, Sauerstoff in der als

interne Bezugs-Sauerstoffquelle dienenden porösen Elektrode 7 erzeugt wird und der durch das Sauerstoffpumpelement 4 (oder 14) fließende Strom zweiseitig gerichtet bzw. bidirektional so geregelt wird, daß die über das Zellelement 8 (oder 13) erzeugte Spannung dem Verhältnis des Sauerstoffpartialdrucks im Hohlraum 9a (oder 18a), als Gasraum, zum Sauerstoffpartialdruck in der porösen Elektrode 7, nämlich zum Sauerstoffpartialdruck im Hohlraum 9a (oder 18a), proportional ist und konstant gehalten wird, wobei der so geregelte Strom als Meßausgangssignal abgegriffen wird.

Der Schaltungsaufbau des Detektors 37 (oder 38) ist in Fig. 4 dargestellt. Der Detektor umfaßt einen Widerstand R, über den eine vorbestimmte Spannung Vb (10 V) an die poröse Elektrode 7 des Zellelements 8 (oder 13) angelegt wird und der den über die andere, mit einer Bezugsspannung Vs (5 V) gespeiste poröse Elektrode 6 (oder 12) fließenden Strom begrenzt, einen Pufferkreis 41 aus einem Operationsverstärker OP1 zum Erfassen oder Messen der über das Zellelement 8 (oder 13) erzeugten und durch die Bezugsspannung Vs angehobenen (boosted) Spannung, einen nicht-invertierenden Verstärkerkreis 42 aus einem Operationsverstärker OP2 zum Verstärken der als Ausgangssignal vom Pufferkreis 41 gelieferten Meßspannung, einen Komparator/Integratorkreis 43 aus einem Operationsverstärker OP3 zum Verstärken der Meßspannung mit der vorbestimmten Bezugsspannung Vc und zum Erzeugen einer Ausgangsregel- oder -steuerspannung der Wellenform gemäß Fig. 5, die sich allmählich mit einer vorbestimmten Integrationskonstante verringert, wenn die verstärkte Meßspannung größer ist als die Bezugsspannung Vc, und die sich allmählich mit derselben Integrationskonstante erhöht, wenn die Meßspannung kleiner ist als die Bezugsspannung Vc, einen Pufferkreis 44 aus einem Operationsverstärker OP4 zum Erzeugen der Bezugsspannung Vs als Ausgangssignal, einen Strommeßwiderstand Ri, über den die Bezugsspannung Vs vom Pufferkreis 44 an die poröse Elektrode 3 (oder 15) an der Seite des Hohlraums 9a (oder 18a) des Sauerstoffpumpelements 4 (oder 17) angelegt wird und der zur Messung des zwischen der Elektrode 3 (oder 15) und der anderen porösen Elektrode 2 (oder 16) fließenden Stroms dient, welcher mit der Steuer- oder Regelspannung vom Komparator/Integratorkreis 43 geliefert wurde, sowie einen Ausgangskreis 45 aus einem Operationsverstärker OP5, von welchem die im Widerstand Ri entstehende Spannung als Meßausgangssignal geliefert wird.

Mittels der beschriebenen Detektorschaltung wurden die beiden Sondereinheiten 10 und 19 unabhängig voneinander betrieben. Die erhaltenen Meßsignale wurden dabei als Grundlage für die Berechnung der Größen des Pumpstrom Ip benutzt, der über die Sauerstoffpumpelemente 4 und 17 geflossen ist. Die Ergebnisse der Berechnung sind graphisch in Fig. 6 veranschaulicht, in welcher die gestrichelte Linie die mit der ersten Sondereinheit 10 erzielten Ergebnisse und die strichpunktierte Linie die mit der zweiten Sondereinheit 19 erzielten Ergebnisse veranschaulichen. Die Einzelheiten der Hauptbauteile des bei diesem Versuch verwendeten Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensors sind in der folgenden Tabelle zusammengefaßt.



Tabelle

Bauteil	Maße (Tiefe × Breite × Länge)	Hauptbestandteil
Festelektrolyt- platten (1, 5, 11, 14)	0,5 mm × 4 mm × 45 mm	Zirkonoxid
Poröse Elektroden (2, 3, 15, 16)	30 µm × 2,4 mm × 5,8 mm	Platin
Poröse Elektroden (6, 7, 12)	30 µm × 2,4 mm × 5,8 mm	Platin
Abstandstücke (9, 18)	60 µm × 4 mm × 45 mm	Aluminium- oxid
Hohlräume/Gas- räume (9a, 18a)	60 µm × 2,4 mm × 7,2 mm	—
Gasdiffusions- drosselteile (9b1–9b5)	1,7 mm weit	Poröses Aluminiumoxid
Verbindungs- Bohrung (20)	0,58 mm Durch- messer (gefüllt mit porösem Material 20a)	(Poröses Material 20a = Aluminiumoxid)

Wie aus Fig. 6 hervorgeht, zeigt der von der ersten Sondeneinheit 10 erhaltene Pumpstrom  $I_p$  einen größeren Gradienten als der Pumpstrom  $I_p$  von der zweiten Sondeneinheit 19. Der Grund für diesen Unterschied im Gradienten oder Gefälle ist folgender: Der Hohlraum 9a bzw. der Gasraum der ersten Sondeneinheit 10 wird über die umgebenden Gasdiffusionsdrosselteile 9b1 bis 9b5 unmittelbar mit dem interessierenden bzw. zu untersuchenden Gas beschickt, während der Hohlraum 18a bzw. der Gasraum der zweiten Sondeneinheit 19 mit diesem Gas zunächst über die Gasdiffusionsdrosselteile 9b1 bis 9b5, sodann über den Hohlraum 9a und die mit dem porösen Material 20a gefüllten Verbindungs-Bohrungen 20 beschickt wird, wobei das zu untersuchende Gas durch die zweite Sondeneinheit 19 mit einer ausreichend verzögerten Geschwindigkeit diffundiert, um eine entsprechend kleinere Größe des Pumpstroms zu erfordern.

Die in Fig. 6 veranschaulichten Versuchsergebnisse verdeutlichen, daß bei Durchführung der Luft/Kraftstoffverhältnismessung im Kraftstoff-Magerbereich mittels der ersten Sondeneinheit 10 und im Kraftstoff-Anreicherungsgebiet mittels der zweiten Sondeneinheit 19 in beiden Bereichen zwei Kennlinien der Meßcharakteristika mit ähnlichen Gradienten erhalten werden, so daß eine konstante Meßgenauigkeit sowohl für den Magerbereich als auch den Anreicherungsgebiet gewährleistet wird. Der erfindungsgemäße Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensor  $S$  kann, genauer gesagt, für die Luft/Kraftstoffverhältnismessung mittels der Detektorschaltung betrieben werden, die für ein automatisches Umschalten zwischen dem Betrieb der ersten Sondeneinheit 10 für die Messung im Magerbereich und dem Betrieb der zweiten Sondeneinheit 19 für die Messung im Anreicherungsgebiet sorgt. Diese Anordnung bietet eine wirksame Lösung für das mit den bisherigen Vorrichtungen verbundene Problem, daß nämlich die Meß(anspruch)empfindlichkeit im Magerbereich wesentlich geringer ist als im Anreicherungsgebiet, um eine zuverlässige Luft/Kraftstoffverhältnisregelung zu

ermöglichen. Im folgenden ist ein Anwendungsbeispiel für den Sensor  $S$  für den Fall seiner Verwendung in Verbindung mit einer Detektorschaltung beschrieben, die zwischen dem Magerbereich und dem Anreicherungsgebiet für den Betrieb der beiden Sondeneinheiten umschaltet und die in Fig. 6 in ausgezogener Linie dargestellten Meßergebnisse liefert.

Eine Detektorschaltung 50 gemäß Fig. 7 enthält zwei Detektoren, die — ebenso wie die Detektoren 37 und 38 gemäß Fig. 4 — den Sonden 10 bzw. 19 zugeordnet sind und die jeweils Pufferkreise 41' bzw. 42'', nicht-invertierende Verstärkerkreise 42' bzw. 42'', Komparator/Integrator 43' bzw. 43'' sowie einen Widerstand  $R'$  umfassen, über den eine vorbestimmte Spannung  $V_b$  an die poröse Elektrode 7 angelegt wird und der dem über die elektrochemischen Sauerstoffkonzentrationszellenelemente 8 und 13 fließenden Strom begrenzt. Neben den genannten Bauteilen enthält die Detektorschaltung 50 Dioden  $D1$  und  $D2$  sowie einen Strommeßwiderstand  $R_i$ . Mittels der Diode  $D1$  wird die Richtung des über das Sauerstoffpumpelement 4 fließenden Pumpstroms, der zur Erzeugung einer konstanten Spannung über das zugeordnete Zellelement geregelt wird, so begrenzt, daß Sauerstoff aus dem Hohlraum 9a der ersten Sondeneinheit 10 ausgepumpt wird. Mittels der Diode  $D2$  wird die Richtung des über das Sauerstoffpumpelement 17 fließenden Pumpstroms, der ebenfalls zur Erzeugung einer konstanten Spannung über das zugeordnete Zellelement geregelt wird, in der Weise begrenzt, daß Sauerstoff in den Hohlraum 18a der zweiten Sondeneinheit 19 eingepumpt wird. Der Widerstand  $R_i$  erfaßt sodann die Summe der beiden Pumpströme, deren Richtung durch diese Dioden  $D1$  und  $D2$  begrenzt (bzw. bestimmt) worden ist.

Wenn das zu messende Luft/Kraftstoffverhältnis im Magerbereich liegt, liefert die Detektorschaltung 50 als Meßausgangssignal den von der ersten Sondeneinheit 10 erhaltenen Pumpstrom. Wenn dieses Verhältnis dagegen im Anreicherungsgebiet liegt, liefert die Schaltung 50 den Pumpstrom von der zweiten Sondeneinheit 19 als Meßausgangssignal. Infolgedessen braucht eine Bedienungsperson nicht entsprechend dem zu messenden Luft/Kraftstoffverhältnis von Hand von der einen Sondeneinheit auf die andere umzuschalten. Es hat sich gezeigt, daß die mittels der Detektorschaltung 50 durchgeführte Messung die durch die ausgezogene Linie in Fig. 6 dargestellte Kennlinie liefert.

Wie in Fig. 6 gezeigt, liefert der Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensor gemäß der beschriebenen Ausführungsform zwei Meßsignale, wenn erste und zweite Sondeneinheit 10 bzw. 19 jeweils einzeln betrieben werden, wobei das im Betrieb der ersten Sondeneinheit 10 erhaltene Meßsignal einen Gradienten (d. h. eine Meß(anspruch)empfindlichkeit) aufweist, der etwa dreimal so groß ist wie der im Betrieb der zweiten Sondeneinheit 19 erhaltene Gradient. Aufgrund dieses Unterschieds im Gradienten ergibt sich folgendes: Wenn das Luft/Kraftstoffverhältnis im Kraftstoff-Magerbereich durch Betätigung der ersten Sondeneinheit 10 und im Kraftstoff-Anreicherungsgebiet durch Betätigung der zweiten Sondeneinheit 19 gemessen wird, wird eine Meßkennlinie erhalten, gemäß welcher sich das Ausgangssignal mit einem praktisch konstanten Gradienten oder Gefälle über den gesamten, den Mager- oder den Anreicherungsgebiet einschließenden Betriebsbereich hinweg ändert, wodurch eine konstante Genauigkeit der Luft/Kraftstoffverhältnismessung gewährleistet wird.

Beim beschriebenen Sensor  $S$  ist die Leitung 71 auf

der als interne Bezugs-Sauerstoffquelle dienenden porösen Elektrode 7 mit der Leitung 6/ auf der porösen Elektrode 6 über den porösen Isolator  $Z$  und die durchgehende Bohrung  $H$  verbunden, so daß der in der Elektrode 7 erzeugte Sauerstoff in den Gasraum der ersten Sondereinheit 10 eindringt. Anstelle dieser Anordnung kann unter Gewährleistung derselben Ergebnisse die in Fig. 8 gezeigte elektrische Verbindung angewandt werden. Bei dieser Abwandlung ist die Leitung 7/ der porösen Elektrode 7' mit der Leitung 12/ auf der porösen Elektrode 12' durch den porösen Isolator  $Z'$  und die durchgehende Bohrung  $H'$  derart verbunden, daß der in der Elektrode 7' freigesetzte Sauerstoff in den Gasraum der zweiten Sondereinheit 19' eindringt oder einsickert (leak). In diesem Fall dienen die Leitung 7/ der Isolator  $Z'$ , die Bohrung  $H'$  und die Leitung 12/ als Leckdrosselteile. Der Aufbau des Sensors gemäß Fig. 8 entspricht im wesentlichen demjenigen des Sensors gemäß Fig. 2, so daß auf eine genauere Erläuterung der Bauteile verzichtet werden kann und die betreffenden Bauteile mit entsprechenden Bezugsziffern, zuzüglich eines angehängten Indexstrichs, bezeichnet sind.

In der vorstehenden Beschreibung ist vorausgesetzt, daß die Luft/Kraftstoffverhältnismessung mittels des erfindungsgemäßen Sensors  $S$  mit Hilfe der Meß- oder Detektorschaltung 50 durchgeführt wird, die gemäß Fig. 7 so ausgelegt ist, daß das Umschalten zwischen den beiden Sondereinheiten für die Luft/Kraftstoffverhältnismessung automatisch mittels zweier Dioden erfolgt. Diese Detektorschaltung kann durch eine Schaltung ersetzt werden, die so ausgebildet ist, daß sie auf dieselbe Weise, wie in Fig. 4 veranschaulicht, arbeitet und selektiv die Verhältnismessung im Kraftstoff-Magerbereich oder -Anreicherungsgebiet mittels Schaltern oder anderen Vorrichtungen vornimmt, welche eine selektive Verbindung zwischen der Detektorschaltung und den beiden Sondereinheiten ermöglichen. Eine solche, in Fig. 9 bei 60 dargestellte Detektorschaltung liefert ein Meßsignal mit einer Kennlinie entsprechend der ausgezogenen Linie gemäß Fig. 6.

Die Meß- oder Detektorschaltung 60 gemäß Fig. 9 umfaßt Widerstände  $R_1$  und  $R_2$ , durch die eine vorbestimmte Spannung  $V_b$  an die poröse Elektrode 7 angelegt wird und welche den durch oder über die poröse Elektrode 6 bzw. 12 fließenden Strom begrenzen, einen invertierenden Verstärkerkreis 61, der die zwischen der porösen Elektrode 7 und der porösen Elektrode 6 und 12 erzeugte Spannung (d. h. die über das elektrochemische Sauerstoffkonzentrationszelelement 8 (oder 13) erzeugte Spannung) mißt oder abgreift und diese abgegriffene Spannung nach der Hinzufügung einer vorbestimmten Spannung  $V_s$  verstärkt, einen Komparator/Integratorkreis 62 zum Vergleichen der Spannung vom Verstärkerkreis 61 mit einer vorbestimmten Bezugsspannung  $V_c$  und zur Lieferung einer Steuer- oder Regelspannung mit der Wellenform gemäß Fig. 5, einen Ausgangskreis 63 zur Erzeugung bzw. Lieferung der Spannung vom Kreis 62 als Meßausgangssignal, einen Widerstand  $R_j$ , der die Ausgangsklemme des Kreises 62 mit der porösen Elektrode 3 oder 15 verbindet, einen Pufferkreis 64, welcher die Spannung  $V_s$  zum Kreis 61 und zur porösen Elektrode 3 oder 15 liefert und den von der porösen Elektrode 2 zur Elektrode 3 oder von der Elektrode 15 zur Elektrode 16 fließenden Strom (d. h. den durch das Sauerstoffpumpenelement 4 oder 18 fließenden Pumpenstrom) in Abhängigkeit vom Ausgangssignal vom Komparator/Integratorkreis 62 regelt, sowie eine Schaltereinheit  $SW$ , welche für die Verhältnismes-

sung im Kraftstoff-Magerbereich die Detektorschaltung 60 mit den Elektroden 2, 3, 6 und 7 der ersten Sondereinheit und für die Verhältnismessung im Anreicherungsgebiet die Detektorschaltung 60 mit den Elektroden 7, 12, 15 und 16 der zweiten Sondereinheit 19 verbindet. Wenn das Luft/Kraftstoffverhältnis im Magerbereich gemessen werden soll, wird der von der porösen Elektrode 2 zur Elektrode 3 im Sauerstoffpumpenelement 4 der ersten Sondereinheit 10 fließende Strom durch die Detektorschaltung 60 nach Maßgabe des Ausgangssignals vom Komparator/Integratorkreis 62 so geregelt, daß die Luft/Kraftstoffverhältnismessung durchgeführt wird, während dieses Verhältnis im Hohlraum 9a auf einen Wert in der Nähe der theoretischen (d. h. stöchiometrischen) Größe des Luft/Kraftstoffverhältnisses eingestellt ist. Wenn andererseits dieses Verhältnis im Kraftstoff-Anreicherungsgebiet gemessen werden soll, wird der von der porösen Elektrode 15 zur Elektrode 16 im Sauerstoffpumpenelement 17 der zweiten Sondereinheit 19 fließende Strom ebenfalls in Abhängigkeit vom Ausgangssignal vom Kreis 62 so geregelt, daß die Luft/Kraftstoffverhältnismessung durchgeführt wird, während das betreffende Verhältnis im Hohlraum 18a in die Nähe der theoretischen Größe dieses Verhältnisses eingestellt ist.

Der beschriebene Sensor gemäß der Erfindung verwendet somit die erste Sondereinheit für die Luft/Kraftstoffverhältnismessung im Kraftstoff-Magerbereich und die zweite Sondereinheit für die entsprechende Messung im Kraftstoff-Anreicherungsgebiet. Mittels dieser selektiven Betätigung des Sensors kann der Gradient der Kennlinie für die Messung im Magerbereich demjenigen für die Messung im Anreicherungsgebiet eng angenähert werden, so daß eine verbesserte Meßgenauigkeit im Magerbereich erzielt werden kann. Wenn weiterhin der Widerstand für eine Gasdiffusion im zweiten Diffusionsdrosselteil doppelt so groß ist wie im ersten Diffusionsdrosselteil, wird eine Meßkennlinie erhalten, in welcher sich die Meßempfindlichkeit kontinuierlich über den gesamten, den Mager- und den Anreicherungsgebiet einschließenden Bereich des Luft/Kraftstoffverhältnisses hinweg ändert. Der diese Meßcharakteristik gewährleistende erfindungsgemäße Sensor stellt somit eine optimale Vorrichtung für die Luft/Kraftstoffverhältnisregelung dar.

Außerdem besitzt der erfindungsgemäße Luft/Kraftstoffverhältnis-Sensor eine Selbstkompensierfunktion für einen durch Verstopfen oder Zusetzen des Diffusionsdrosselteils hervorgerufenen Ausgangssignalfehler. Ein solches Verstopfen oder Zusetzen kann im Langzeitbetrieb des Sensors allmählich auftreten.

Beim Einsatz eines solchen Sensors in einem Kraftfahrzeug erfährt der Gasdiffusionsdrosselteil ein (allmähliches) Verstopfen oder Zusetzen durch Ablagerungen, wie im Abgas enthaltene Metalloxidbestandteile und wärmebeständige Metalloxide in Form feiner Teilchen, was eine Verschlechterung der Meßgenauigkeit aufgrund einer Änderung der für das Luft/Kraftstoffverhältnis repräsentativen Sensor-Ausgangssignale zur Folge hat. Erfindungsgemäß ist es dagegen möglich, das Auftreten eines Verstopfens oder Zusetzens unabhängig von der zu messenden Atmosphäre zu bestimmen, weil die Diffusionsdrosselheiten in zwei Reihen angeordnet sind. Die Diffusionsteile des Sensors mit der Charakteristik bzw. Kennlinie gemäß Fig. 10 würden durch Ablagerungen verstopft werden, während die zweite Reihe der Diffusionsdrosselheiten gemäß der Erfindung durch an ihr anhaftende Ablagerungen kaum ver-



stopft bzw. zugesetzt wird.

Insbesondere bestimmt sich der Abnahmegrad der Stromausgänge von der zweiten Sonde unmittelbar nach den Ablagerungen (bzw. dem Zusetzen durch Ablagerungen) durch folgende Gleichung:

$$Ip'_1/Ip_1 = \alpha$$

Ein Verhältnis zwischen den Stromausgängen, die von erster und zweiter Sonde im Anfangszustand gemessen werden, bestimmt sich wie folgt:

$$Ip_1/Ip_2 = K$$

Ein Verhältnis zwischen den Stromausgängen, die durch erste und zweite Sonde nach (einem Zusetzen durch) Ablagerungen gemessen werden, bestimmt sich wie folgt:

$$Ip'_1/Ip'_2 = K'$$

In obigen Gleichungen bedeuten:

- $Ip_1$  = anfänglicher Stromausgang (Stromausgangssignal) der erste Sonde (d. h. der Sauerstoffpumpstrom, wenn der zum Sauerstoffpumpenelement der ersten Sonde gelieferte Strom eingestellt ist, um unmittelbar nach Inbetriebsetzung des Sensors die Ausgangsspannung des Sauerstoffkonzentrationszellenelements der ersten Sonde konstant zu halten)
- $Ip'_1$  = Stromausgang der ersten Sonde nach der Bildung von Ablagerungen
- $Ip_2$  = Anfangsstromausgang der zweiten Sonde und
- $Ip'_2$  = Stromausgang der zweiten Sonde nach der Bildung von Ablagerungen.

Unter den vorstehend angegebenen Größen der Verhältnisse ergibt sich unter der Voraussetzung, daß sich zwar der erste Diffusionsdrosselteil, nicht aber der zweite Diffusionsdrosselteil zusetzt, die folgende Beziehung:

$$\alpha = (K' - 1)/(K - 1)$$

Die Verhältnisse  $K$  und  $K'$  bleiben unabhängig von der zu messenden Atmosphäre unverändert. Das Verhältnis  $K$  kann somit ohne Rücksicht auf die Atmosphäre im voraus gewählt werden. Das Verhältnis  $K'$  kann nach der Bildung von Ablagerungen bestimmt werden. Dabei kann die Größe  $\alpha$  einfach vorgegeben werden, um damit die Ausgangssignale zu korrigieren bzw. die Ausgangssignalfehler zu kompensieren.

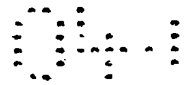
Gemäß einem erfindungsgemäß durchgeführten Versuch wurde eine im wesentlichen konstante Beziehung zwischen dem Stromabnahmegrad  $\alpha$  und der Größe von  $(K' - 1)/(K - 1)$  über einen vollen Bereich vom Kraftstoff-Magerbereich zum -Anreicherungs-bereich bestätigt (vgl. Fig. 11). Die Stromausgang-Selbstkompensierungsfunktion des erfindungsgemäßen Sensors ist somit sichergestellt.

Bezüglich einer Stromausgangs-Abnahmerate ( $\beta = Ip'_2/Ip_2$ ) der zweiten Sonde gilt ebenfalls eine ähnliche Beziehung. Unter der Annahme, daß kein Zusetzen der zweiten Sonde durch Ablagerungen auftritt, läßt sich nämlich zwischen den oben genannten Verhältnissen  $K$  und  $K'$  sowie dem (der) Abnahmegrad (oder -rate)  $\beta$  die folgende Beziehung aufstellen:

$$\beta = \frac{1 - (1/K')}{1 - (1/K)} = \frac{K}{K'} \alpha$$

Aus diesem Grund läßt sich auf dieselbe Weise wie für  $\alpha$  der Abnahmegrad  $\beta$  erhalten oder ableiten, und die Meßergebnisse der zweiten Sonde können unter Heranziehung des Abnahmegrads  $\beta$  kompensiert werden.

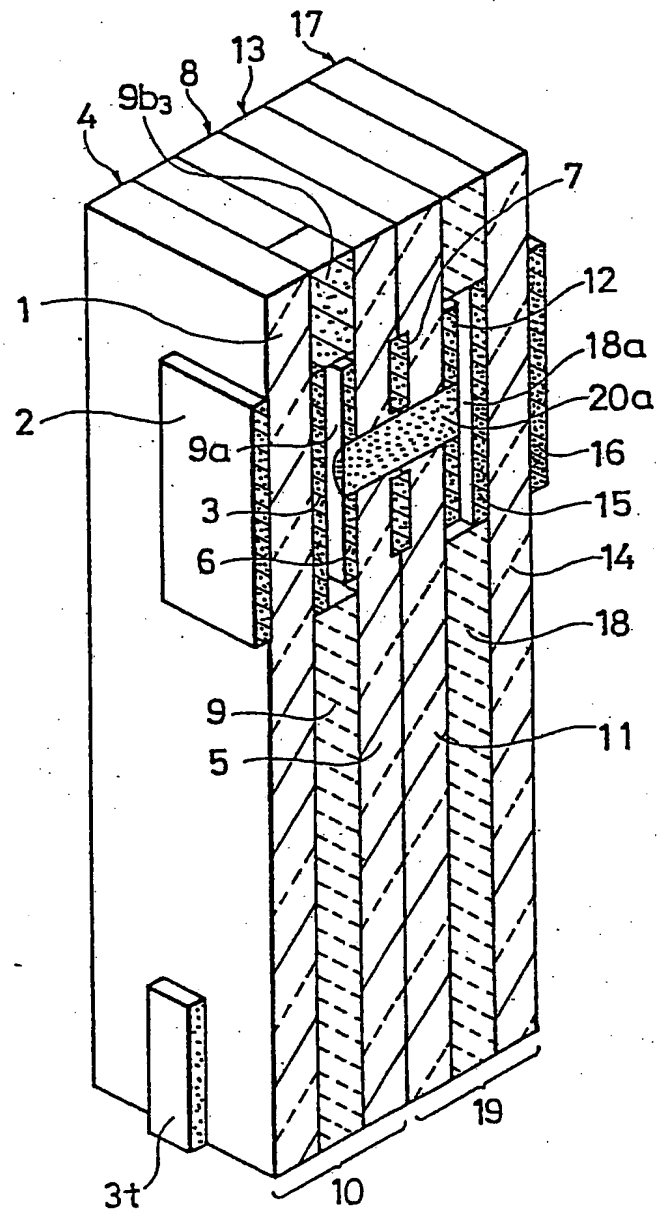
3703707



Nummer:  
Int. Cl. 4:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

37 03 707  
G 01 N 27/50  
6. Februar 1987  
13. August 1987

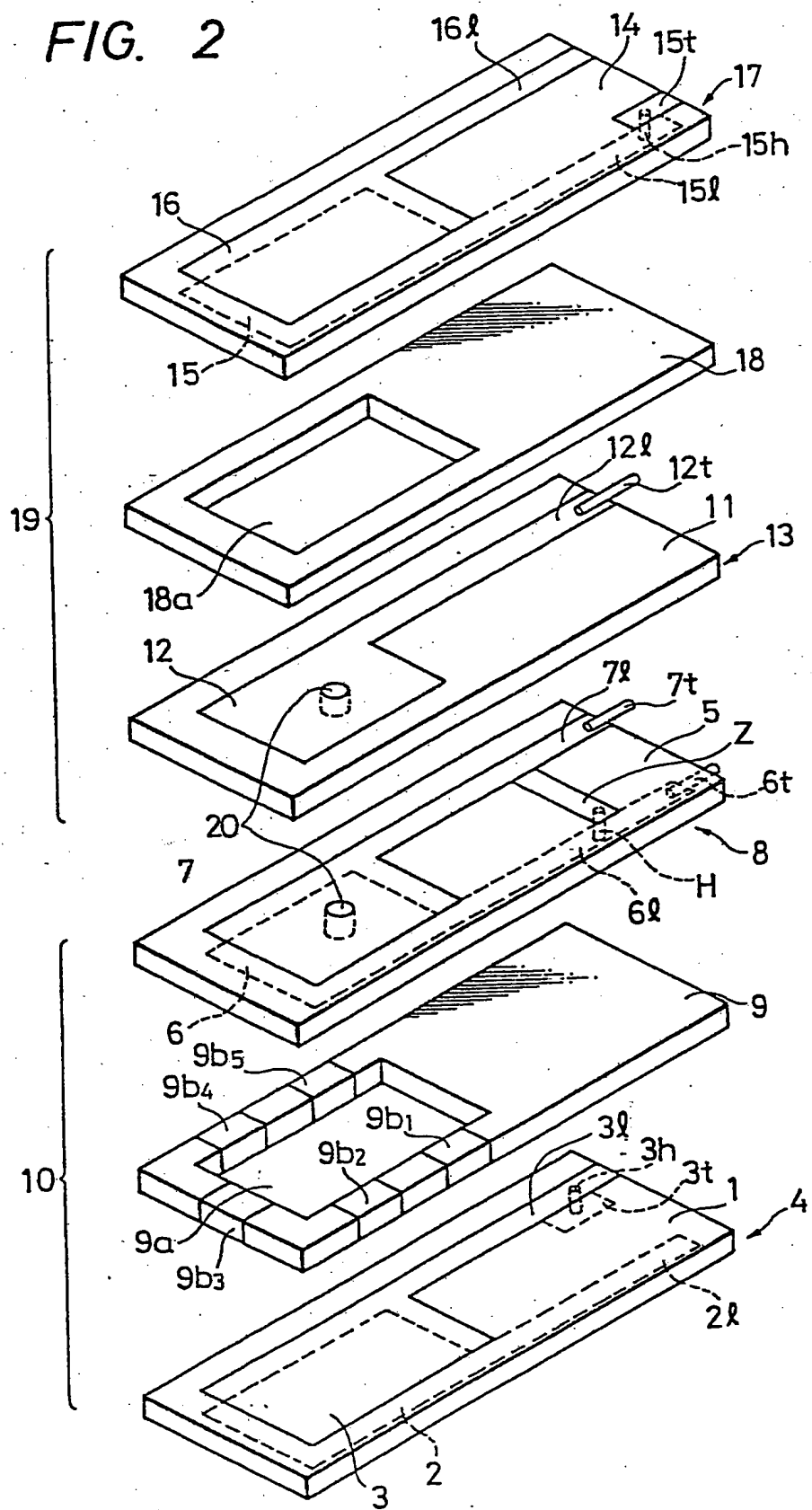
FIG. 1



3703707

04-08-07

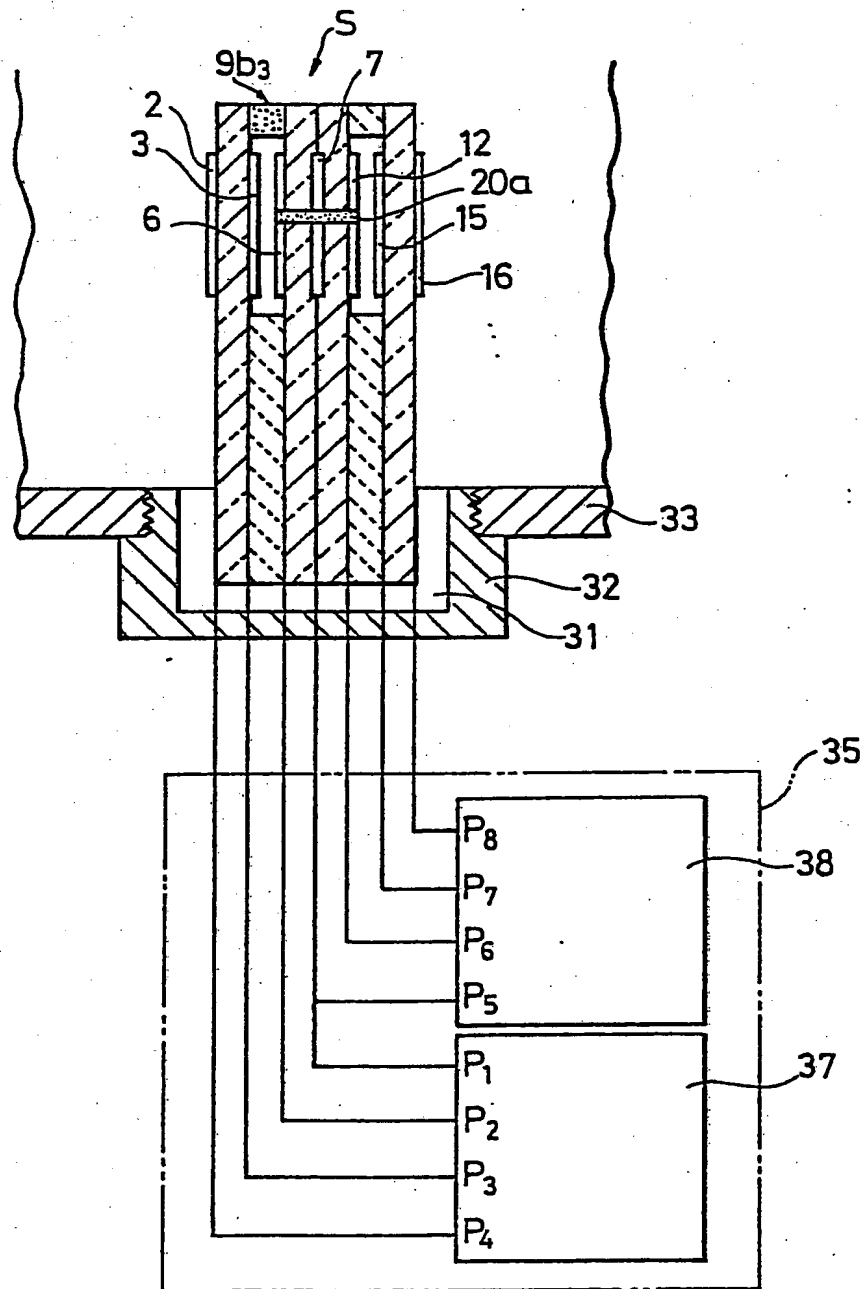
FIG. 2



3703707

04-03-2007

FIG. 3



3703707

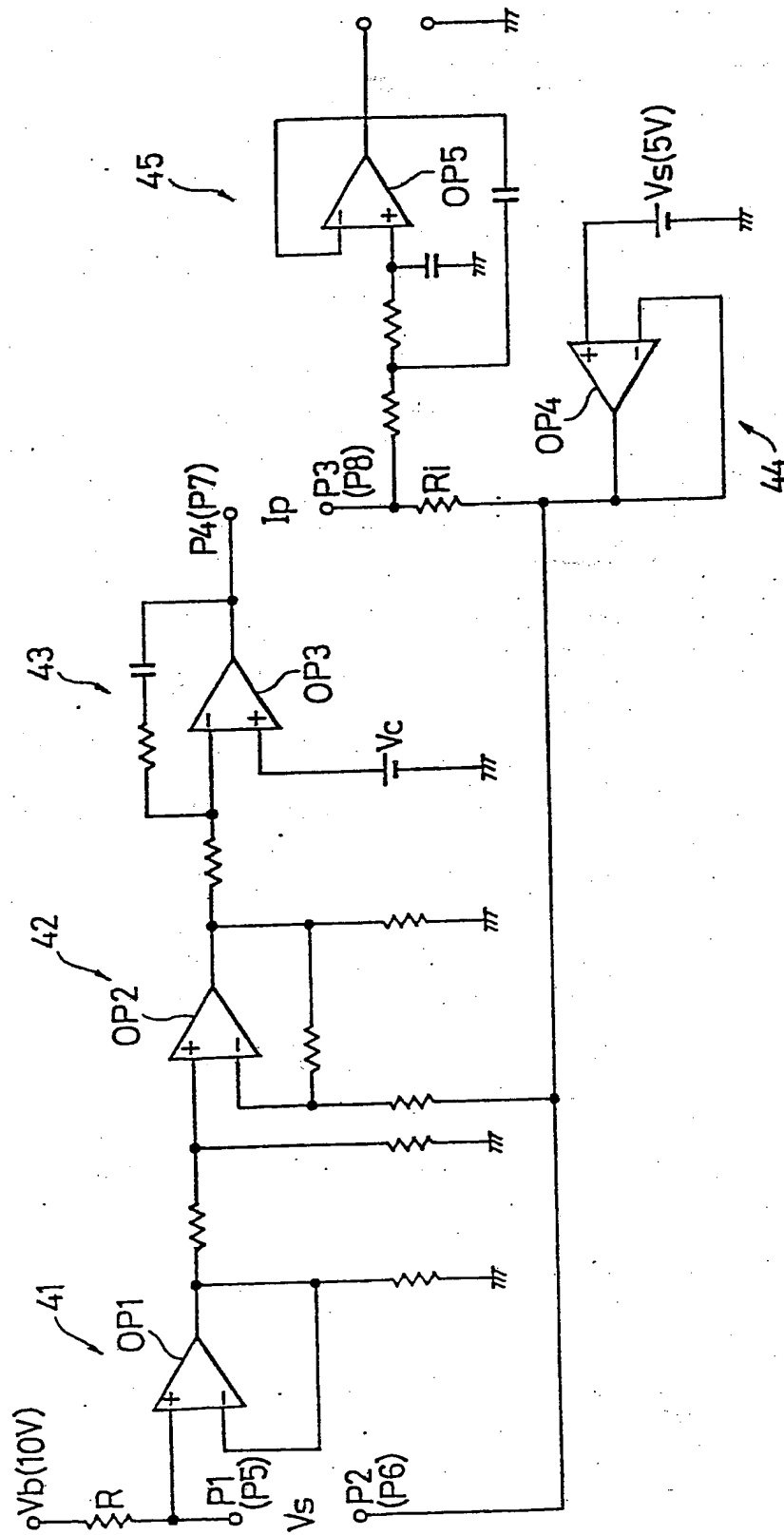


FIG. 4

3703707

FIG. 5

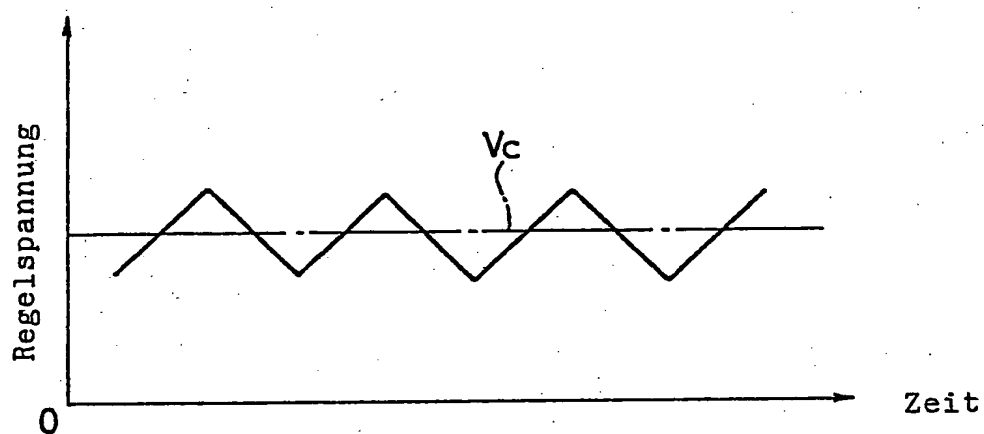
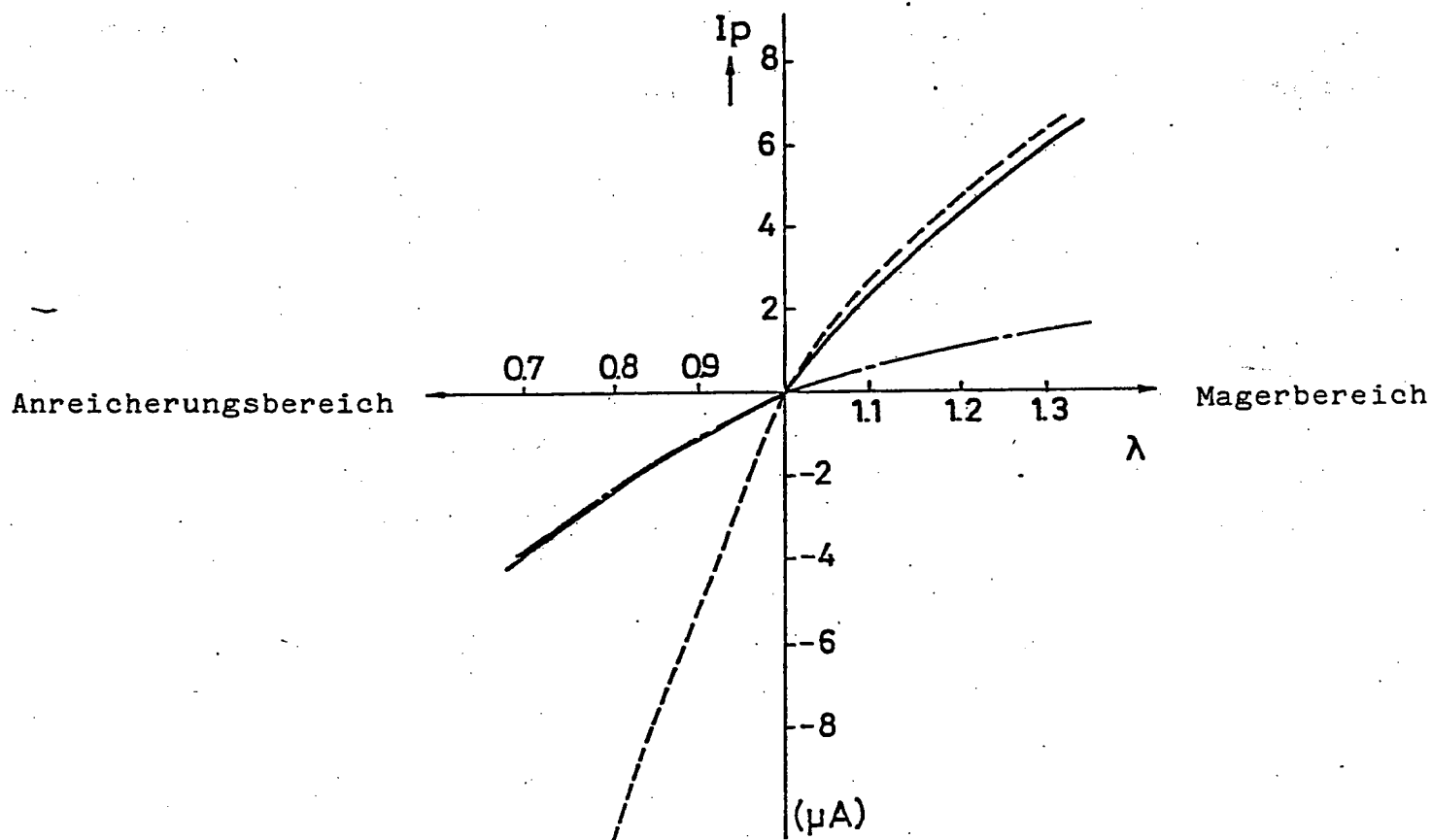


FIG. 6





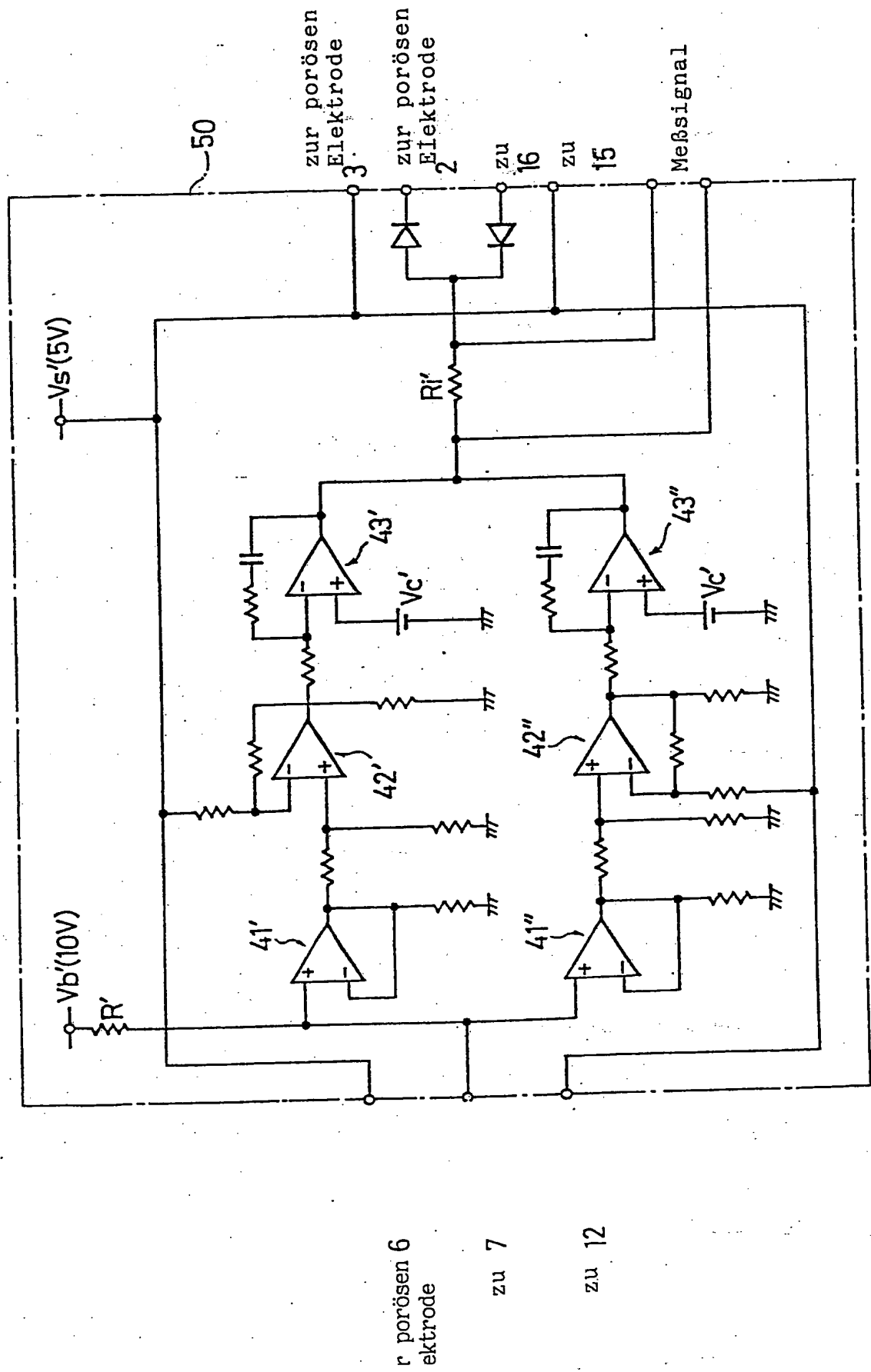
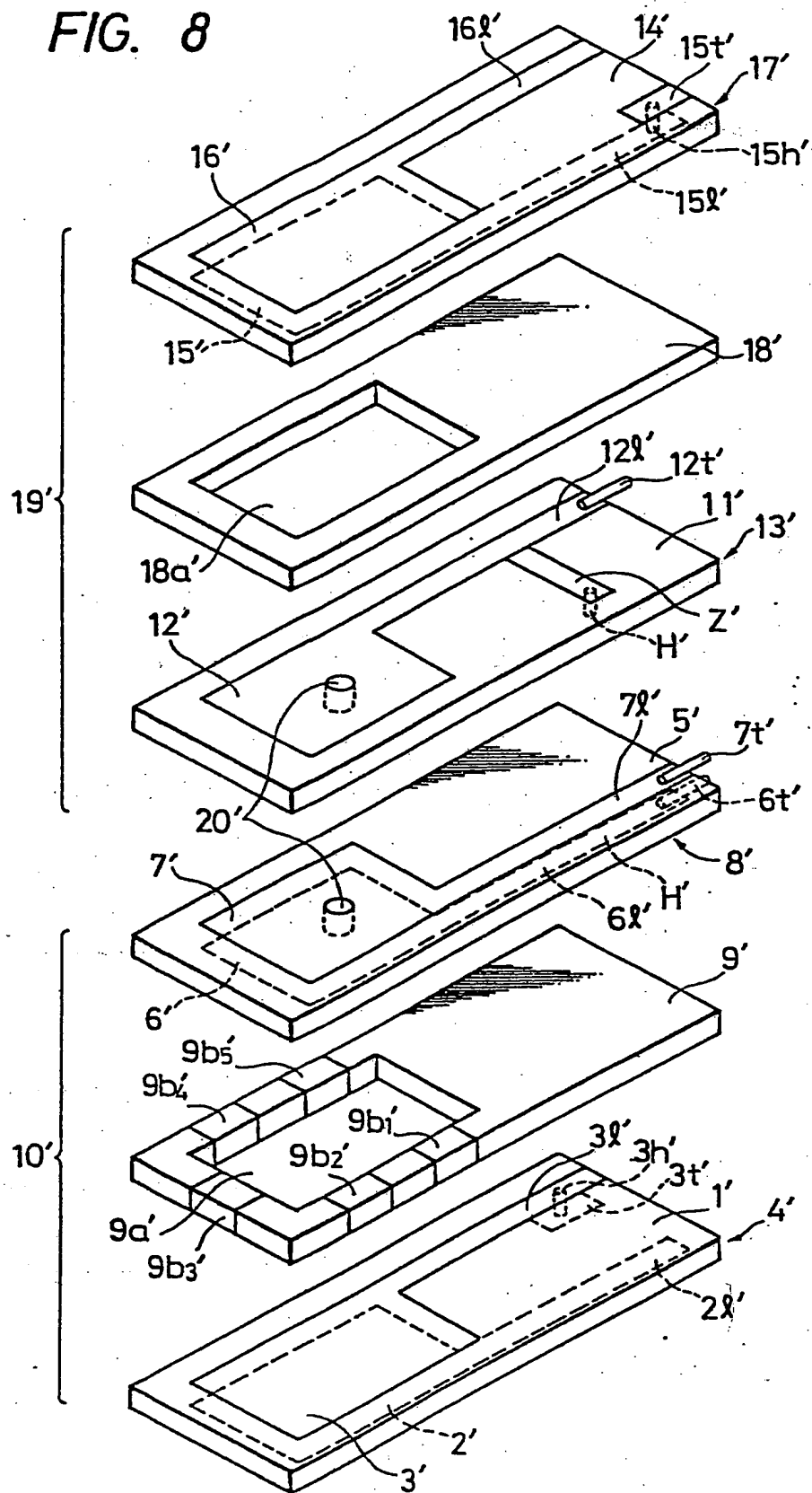


FIG. 7

FIG. 8



3703707

000000

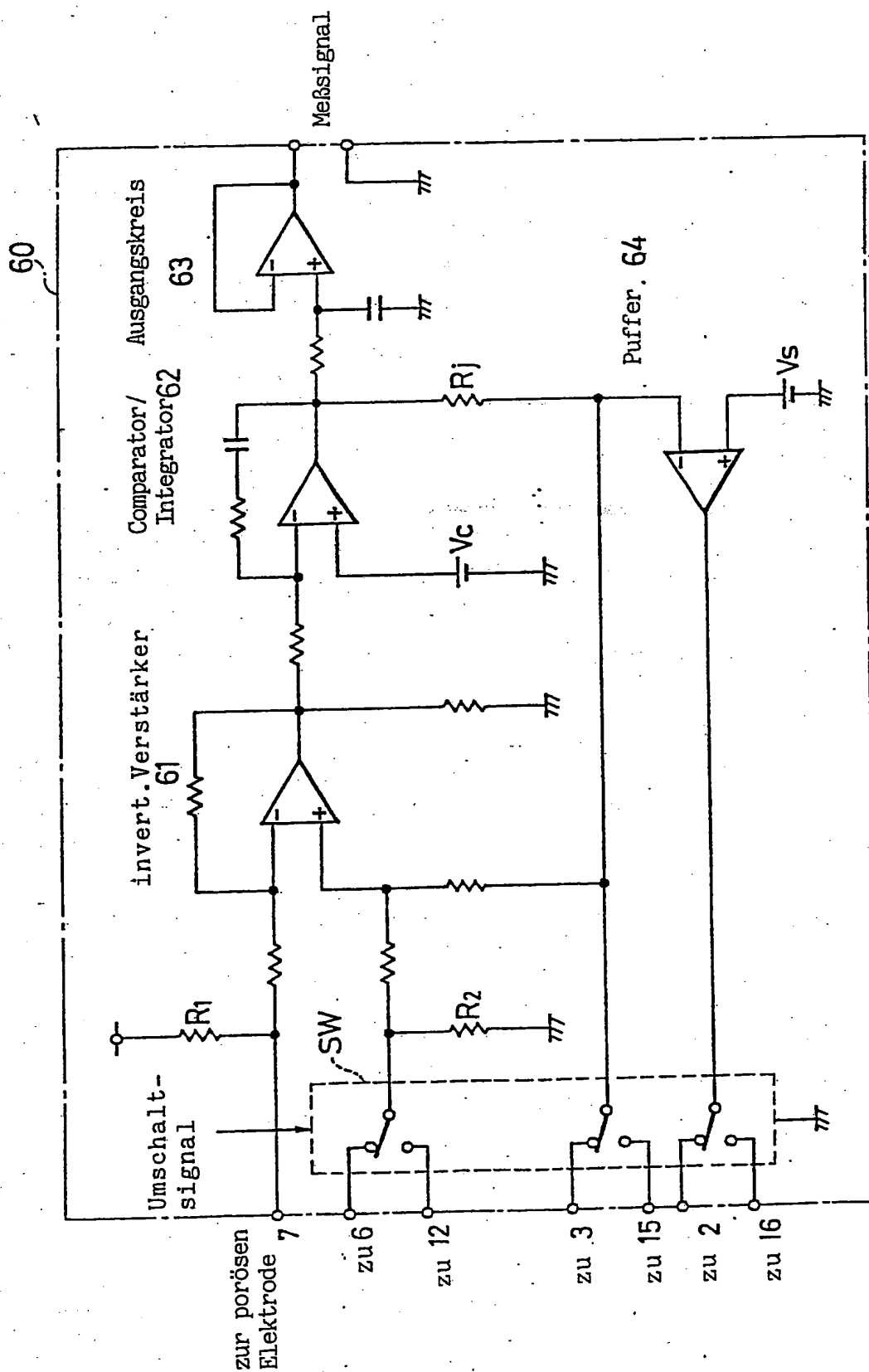


FIG. 9

FIG. 10

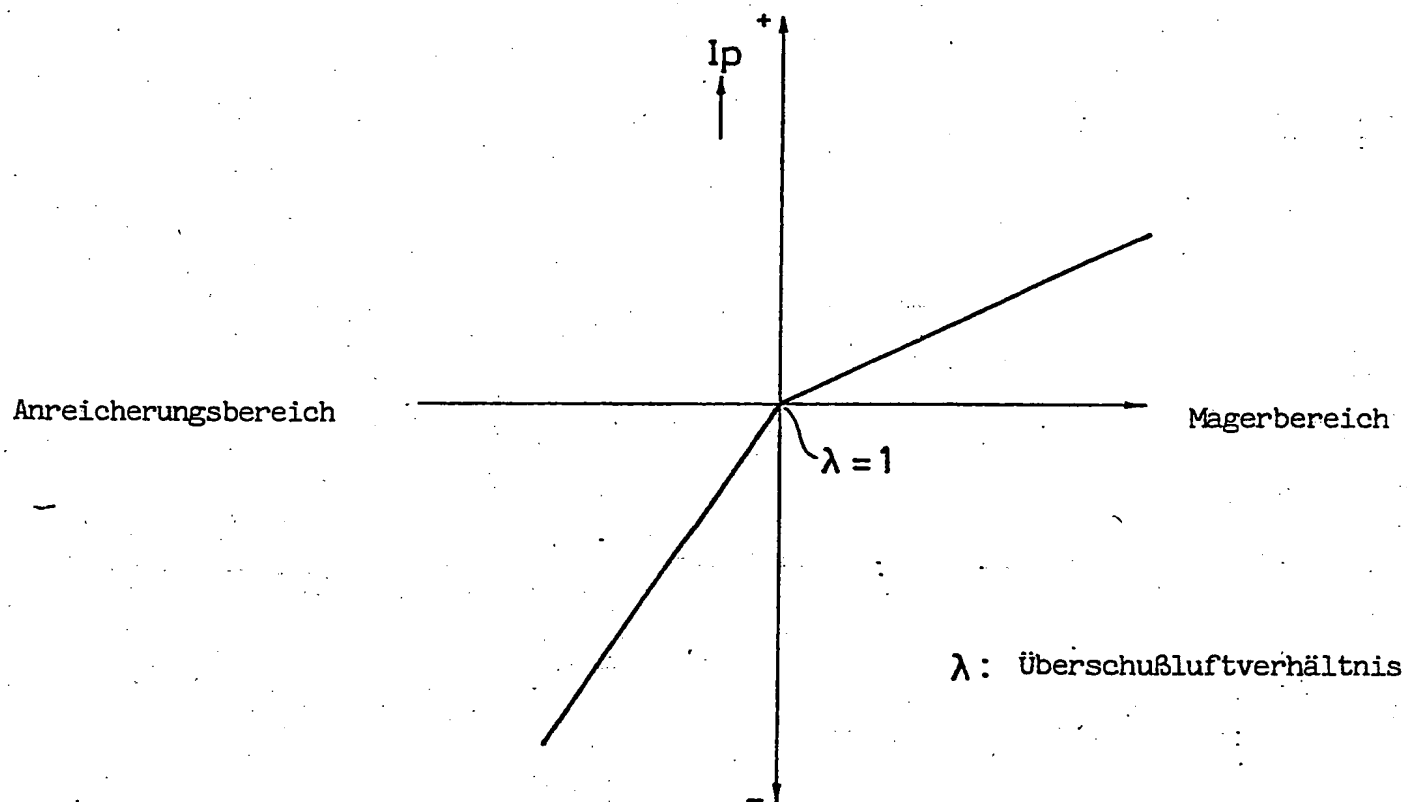


FIG. 11

